# 特許協力条約

REC'D 29 DEC 2005
WIPO PCT

PCT

特許性に関する国際予備報告（特許協力条約第二章）

（法第12条、法施行規則第56条）
〔PCT36条及びPCT規則70〕

| | |
|---|---|
| 出願人又は代理人<br>の書類記号 P0737PC | 今後の手続きについては、様式PCT／IPEA／416を参照すること。 |

| | | |
|---|---|---|
| 国際出願番号<br>PCT／JP2004／011568 | 国際出願日<br>（日．月．年）　05．08．2004 | 優先日<br>（日．月．年）　11．08．2003 |

国際特許分類（IPC）Int.Cl. ***H03H21/00*** (2006.01), ***G05B13/02*** (2006.01), ***H04B3/23*** (2006.01), ***H04B7/005*** (2006.01), ***H04R3/00*** (2006.01), ***H04S7/00*** (2006.01), ***G10K11/178*** (2006.01)

出願人（氏名又は名称）
独立行政法人科学技術振興機構

1．この報告書は、PCT35条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。
法施行規則第57条（PCT36条）の規定に従い送付する。

2．この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で　3　ページからなる。

3．この報告には次の附属物件も添付されている。
a．☑ 附属書類は全部で　32　ページである。

☑ 補正されて、この報告の基礎とされた及び／又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び／又は図面の用紙（PCT規則70.16及び実施細則第607号参照）

☐ 第Ⅰ欄4．及び補充欄に示したように、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとこの国際予備審査機関が認定した差替え用紙

b．☐ 電子媒体は全部で＿＿＿＿（電子媒体の種類、数を示す）。
配列表に関する補充欄に示すように、電子形式による配列表又は配列表に関連するテーブルを含む。
（実施細則第802号参照）

4．この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

☑ 第Ⅰ欄　国際予備審査報告の基礎
☐ 第Ⅱ欄　優先権
☐ 第Ⅲ欄　新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
☐ 第Ⅳ欄　発明の単一性の欠如
☑ 第Ⅴ欄　PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
☐ 第Ⅵ欄　ある種の引用文献
☐ 第Ⅶ欄　国際出願の不備
☐ 第Ⅷ欄　国際出願に対する意見

| | |
|---|---|
| 国際予備審査の請求書を受理した日<br>09．06．2005 | 国際予備審査報告を作成した日<br>13．12．2005 |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁（IPEA／JP）<br>郵便番号100－8915<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | 特許庁審査官（権限のある職員）　5W　3139<br>東　昌秋<br>電話番号　03－3581－1101　内線　3576 |

様式PCT／IPEA／409（表紙）（2005年4月）

## 第Ｉ欄　報告の基礎

１．言語に関し、この予備審査報告は以下のものを基礎とした。

- [x] 出願時の言語による国際出願
- [ ] 出願時の言語から次の目的のための言語である＿＿＿＿＿＿語に翻訳された、この国際出願の翻訳文
  - [ ] 国際調査（ＰＣＴ規則12.3(a)及び23.1(b)）
  - [ ] 国際公開（ＰＣＴ規則12.4(a)）
  - [ ] 国際予備審査（ＰＣＴ規則55.2(a)又は55.3(a)）

２．この報告は下記の出願書類を基礎とした。（法第6条（ＰＣＴ14条）の規定に基づく命令に応答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。）

- [ ] 出願時の国際出願書類
- [x] 明細書
  - 第　1-9, 11-15, 21, 22, 24, 27　ページ、出願時に提出されたもの
  - 第　10, 16-20, 23, 25, 26　ページ＊、０９．０６．２００５　付けで国際予備審査機関が受理したもの
  - 第＿＿＿＿　ページ＊、＿＿＿＿　付けで国際予備審査機関が受理したもの
- [x] 請求の範囲
  - 第＿＿＿＿　項、出願時に提出されたもの
  - 第＿＿＿＿　項＊、ＰＣＴ１９条の規定に基づき補正されたもの
  - 第　7, 9, 11, 13, 15-17　項＊、０９．０６．２００５　付けで国際予備審査機関が受理したもの
  - 第　2, 3, 8, 10, 14　項＊、２７．１０．２００５　付けで国際予備審査機関が受理したもの
- [x] 図面
  - 第　1-4, 6-10　~~ページ／~~図、出願時に提出されたもの
  - 第　5　~~ページ／~~図＊、０９．０６．２００５　付けで国際予備審査機関が受理したもの
  - 第＿＿＿＿　ページ／図＊、＿＿＿＿　付けで国際予備審査機関が受理したもの
- [ ] 配列表又は関連するテーブル
  配列表に関する補充欄を参照すること。

３．[x] 補正により、下記の書類が削除された。

- [ ] 明細書　第＿＿＿＿　ページ
- [x] 請求の範囲　第　1, 4-6, 12　項
- [ ] 図面　第＿＿＿＿　ページ／図
- [ ] 配列表（具体的に記載すること）＿＿＿＿
- [ ] 配列表に関連するテーブル（具体的に記載すること）＿＿＿＿

４．[ ] この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。（ＰＣＴ規則70.2(c)）

- [ ] 明細書　第＿＿＿＿　ページ
- [ ] 請求の範囲　第＿＿＿＿　項
- [ ] 図面　第＿＿＿＿　ページ／図
- [ ] 配列表（具体的に記載すること）＿＿＿＿
- [ ] 配列表に関連するテーブル（具体的に記載すること）＿＿＿＿

＊ ４．に該当する場合、その用紙に "superseded" と記入されることがある。

第Ｖ欄　新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条（ＰＣＴ35条(2)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

１．　見解

| | | | |
|---|---|---|---|
| 新規性（Ｎ） | 請求の範囲 | ２，３，７－１１，１３－１７ | 有 |
| | 請求の範囲 | | 無 |
| 進歩性（ＩＳ） | 請求の範囲 | ２，３，７－１１，１３－１７ | 有 |
| | 請求の範囲 | | 無 |
| 産業上の利用可能性（ＩＡ） | 請求の範囲 | ２，３，７－１１，１３－１７ | 有 |
| | 請求の範囲 | | 無 |

２．　文献及び説明（ＰＣＴ規則70.7）

文献１：ＪＰ　２００２－１３５１７１　Ａ（科学技術振興事業団）
２００２．０５．１０，
段落【００１８】～【００７０】，【００７７】，【図１】
＆　ＵＳ　２００４－５９５５１　Ａ１
文献２：NISHIYAMA,K. 'Robust estimation of a single complex sinusoid in white noise-$H_\infty$ filtering approach.',
In:IEEE Transactions on Signal Processing,USA,1999,
Vol.47,pp.2853-2856
文献３：ＪＰ　７－１８５６２５　Ａ（新日本製鐵株式会社）
１９９５．０７．２５，段落【００２１】，【図２】
文献４：NISHIYAMA,K, et al. '$H_\infty$-learning of layered neural networks',
In:IEEE Transactions on Neural Networks,USA,2001,
Vol.12,pp.1265-1277

請求の範囲２，３，７－１１，１３－１７について
国際調査報告で引用された文献１～４には、ハイパー$H_\infty$フィルタにおいて、式(20)～(22)、式(61)～(63)、又は、式(25)～(30)の計算を行うことが、記載も示唆もされていない。

$y_k$:観測信号;フィルタの入力となり、既知である。

$z_k$:出力信号;未知である。

$F_k$:システムのダイナミックス;既知である。

$G_k$:駆動行列;実行時に既知となる。

$H_k$:観測行列;既知である。

$\hat{x}_{k|k}$:観測信号$y_0$〜$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値;フィルタ方程式によって与えられる。

$\hat{x}_{k+1|k}$:観測記号$y_0$〜$y_k$まで用いた時刻k+1の状態$x_{k+1}$の推定値;フィルタ方程式によって与えられる。

$\hat{x}_{0|0}$:状態の初期推定値;本来未知であるが、便宜上0が用いられる。

$\hat{\Sigma}_{k|k}$:$\hat{x}_{k|k}$の誤差の共分散行列に対応;リカッチ方程式によって与えられる。

$\hat{\Sigma}_{k+1|k}$:$\hat{x}_{k+1|k}$の誤差の共分散行列に対応;リカッチ方程式によって与えられる。

$\hat{\Sigma}_{1|0}$:初期状態の共分散行列に対応;本来未知であるが、便宜上$\varepsilon_0 I$が用いられる。

$K_{s,k}$:フィルタゲイン;行列$\hat{\Sigma}_{k|k-1}$から得られる。

$\rho$:忘却係数;定理1〜3の場合、$\gamma_f$が決まれば$\rho=1-\chi(\gamma_f)$より自動的に決定される。

$e_{f,i}$:フィルタ誤差

$R_{e,k}$:補助変数

なお、記号の上に付される"^"、"v"は、推定値の意味である。また、"〜"、"ー"、"U"等は、便宜上付加した記号である。これらの記号は、入力の都合上、文字の右上に記載するが、数式で示すように、文字の真上に記載されたものと同一である。また、x、w等はベクトル、H、G, K、R、Σ、等は行列であり、数式で示すように太文字で記されるものであるが、入力の都合上、普通の文字で記載する。

る。

4. 数値的に安定な状態推定アルゴリズム

上述のハイパーH∞フィルタは、$\hat{\Sigma}_{k|k-1} \in R^{N \times N}$を更新するため、単位時間ステップ当たりの計算量は$O(N^2)$となる、すなわち、$N^2$に比例する算術演算が必要となる。ここで、Nは状態ベクトル$x_k$の次元である。よって、$x_k$の次元が増加するにつれて本フィルタの実行に要する計算時間は急速に増大する。また、誤差共分散行列$\hat{\Sigma}_{k|k-1}$は、その性質から常に正定でなければならないが、数値的には負定になる場合がある。特に、単精度で計算した場合はこの傾向は顕著となる。このとき、フィルタは不安定となることが知られている。よって、アルゴリズムの実用化および低コスト化のためには、単精度（例：32bit）でも動作可能な状態推定アルゴリズムの開発が望まれる。

そこで、次に、

$R_k = R^{1/2}_k J_1 R^{T/2}_k$、

$R_{e,k} = R^{1/2}_{e,k} J_1 R^{T/2}_{e,k}$、

$\hat{\Sigma}_{k|k-1} = \hat{\Sigma}^{1/2}_{k|k-1} \hat{\Sigma}^{T/2}_{k|k-1}$

に着目して、数値的に安定化した定理1のH∞フィルタ（平方根アレイアルゴリズム）を定理2に示す。ただし、ここでは簡単のため$F_k = I$としたが、$F_k \neq I$の場合も同様に求めることができる。以下に、数値的に安定な状態推定アルゴリズムを実現するための、ハイパーH∞フィルタを示す。

（定理2）

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{20}$$

$$K_{s,k} = K_k(:,1)/R_{e,k}(1,1)\ ,\ K_k = \rho^{\frac{1}{2}}(\rho^{-\frac{1}{2}}K_k R_{e,k}^{-\frac{1}{2}} J_1^{-1}) J_1 R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \tag{21}$$

$$\left[\begin{array}{c|c} R_k^{\frac{1}{2}} & C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \\ \hline 0 & \rho^{-\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \end{array}\right]\Theta(k) = \left[\begin{array}{c|c} R_{e,k}^{\frac{1}{2}} & 0 \\ \hline \rho^{-\frac{1}{2}}K_k R_{e,k}^{-\frac{1}{2}} J_1^{-1} & \hat{\Sigma}_{k+1|k}^{\frac{1}{2}} \end{array}\right] \tag{22}$$

ただし、

$$R_k = R_k^{\frac{1}{2}} J_1 R_k^{\frac{T}{2}},\ \ R_k^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \rho^{\frac{1}{2}} & 0 \\ 0 & \rho^{\frac{1}{2}}\gamma_f \end{bmatrix},\ \ J_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix},\ \ \hat{\Sigma}_{k|k-1} = \hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}}$$

$$R_{e,k} = R_k + C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}C_k^T,\ \ C_k = \begin{bmatrix} H_k \\ H_k \end{bmatrix},\ \ R_{e,k} = R_{e,k}^{\frac{1}{2}} J_1 R_{e,k}^{\frac{T}{2}},\ \ \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0 \tag{23}$$

であり、$\Theta(k)$ はJ-ユニタリ行列、すなわち$\Theta(k)J\Theta(k)^T = J$を満たし、$J = (J_1 \oplus I)$、$I$は単位行列である。また、$K_k(:,1)$ は行列$K_k$の１列目の列ベクトルを表す。

なお、式（21）、（22）において、$J_1^{-1}$および$J_1$は削除可能である。

図4に、定理2の平方根アレイアルゴリズムの説明図を示す。この計算アルゴリズムは、図2に示した定理１のフローチャート中の$H_\infty$フィルタの計算（S105）で用いることができる。

本推定アルゴリズムは、$\hat{\Sigma}_{k|k-1}$をリカッチ型の更新式で求める代わりに、その因数行列$\hat{\Sigma}^{1/2}_{k|k-1} \in R^{N \times N}$（$\hat{\Sigma}_{k|k-1}$の平方根行列）をJ－ユニタリ変換に基づく更新式で求めている。このとき生じる1－1ブロック行列と2－1ブロック行列からフィルタゲイン$K_{s,k}$を図示のように求めている。このため、$\hat{\Sigma}_{k|k-1} = \hat{\Sigma}^{1/2}_{k|k-1}\hat{\Sigma}^{T/2}_{k|k-1} > 0$となり、$\hat{\Sigma}_{k|k-1}$の正定性は保証され、数値的に安定化できる。なお、定理2の$H_\infty$フィルタの単位ステップ当たりの計算量は$O(N^2)$のままである。

なお、図4において、$J_1^{-1}$は削除可能である。

まず、処理部101は、式（22）の左辺の行列式の各要素に含まれる項を記憶部105から読み出し又は内部メモリ等から得て、J－ユニタリ変換を実行する（S301）。処理部101は、求めた式（22）の右辺の行列式の要素からシステムゲイン$K_k$、$K_{s,k}$を

式(21)に基づき計算する(S303、S305)。処理部101は、式(20)に基づき状態推定値$\hat{x}_{k|k}$を計算する(S307)。

5. 状態推定のための数値的に安定な高速アルゴリズム

上述のように、定理2の$H_\infty$フィルタの単位ステップ当たりの計算量は$O(N^2)$のままである。そこで、計算量の対策として、$\underline{H}_k=\underline{H}_{k+1}\Psi$, $\underline{H}_k=[u(k), \cdots, u(0), 0, \cdots, 0]$のとき、$\underline{x}_k=[x^T_k, 0^T]^T$の1ステップ予測誤差の共分散行列$\underline{\Sigma}_{k+1|k}$が

$$\underline{\Sigma}_{k+1|k}-\Psi\underline{\Sigma}_{k|k-1}\Psi^T=-\underline{L}_k R_{r,k}^{-1}\underline{L}_k^T, \quad \underline{L}_k=\begin{bmatrix}\tilde{L}_k\\0\end{bmatrix} \tag{24}$$

を満たすことを利用して、$\underline{\Sigma}_{k+1|k}$の代わりに次元の低い$\underline{L}_k$(すなわち$\tilde{L}_k$)を更新することを考える。ここで、$R_{r,k}=R_{r,k}^{\frac{1}{2}}SR_{r,k}^{\frac{T}{2}}$と表されることに注意すれば次の定理3が得られる。

(定理3)

$$\hat{x}_{k|k}=\hat{x}_{k-1|k-1}+K_{s,k}(y_k-H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{61}$$

$$K_{s,k}=K_k(:,1)/R_{e,k}(1,1)\ ,\ K_k=\rho^{\frac{1}{2}}(\overline{K}_k R_{e,k}^{-\frac{1}{2}})R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \tag{62}$$

$$\begin{bmatrix} R_{e,k+1}^{\frac{1}{2}} & 0 \\ \begin{bmatrix}\overline{K}_{k+1}\\0\end{bmatrix}R_{e,k+1}^{-\frac{T}{2}}J_1 & \tilde{L}_{k+1}R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_{e,k}^{\frac{1}{2}} & \check{C}_{k+1}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-\frac{1}{2}} \\ \begin{bmatrix}0\\\overline{K}_k\end{bmatrix}R_{e,k}^{-\frac{1}{2}}J_1 & \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-\frac{1}{2}} \end{bmatrix}\Theta(k) \tag{63}$$

ここで、$\Theta(k)$は任意のJ-ユニタリ行列であり、$\check{C}_k=\check{C}_{k+1}\Psi$が成り立つ。

ただし、

$$R_k=R_k^{\frac{1}{2}}J_1R_k^{\frac{T}{2}},\ R_k^{\frac{1}{2}}=\begin{bmatrix}\rho^{\frac{1}{2}} & 0\\0 & \rho^{\frac{1}{2}}\gamma_f\end{bmatrix},\ J_1=\begin{bmatrix}1 & 0\\0 & -1\end{bmatrix},\ \hat{\Sigma}_{k|k-1}=\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}}$$

$$R_{e,k}=R_k+C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}C_k^T,\ C_k=\begin{bmatrix}H_k\\H_k\end{bmatrix},\ R_{e,k}=R_{e,k}^{\frac{1}{2}}J_1R_{e,k}^{\frac{T}{2}},\ \hat{x}_{0|0}=\check{x}_0 \tag{23}$$

なお、定理3の証明は、後述する。

上式は、$\overline{K}_k(=\rho^{-1/2}K_k)$の代わりに$K_k$についても整理することができる。

さらに、次のJ－ユニタリ行列

$$\Theta(k)=(J_1 R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \oplus -R_{r,k}^{\frac{1}{2}})\sum(k)(R_{e,k+1}^{-\frac{T}{2}} J_1^{-1} \oplus -R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}})$$

を用いれば定理4の高速化した状態推定アルゴリズムが得られる。ただし、$\Psi$ はシフト行列を表す。

（定理4）

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k \hat{x}_{k-1|k-1}) \quad (25)$$

$$K_{s,k} = \rho^{\frac{1}{2}} \overline{K}_k(:,1)/R_{e,k}(1,1) \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \quad (27)$$

$$\tilde{L}_{k+1} = \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \quad (28)$$

$$R_{e,k+1} = R_{e,k} - \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \quad (29)$$

$$R_{r,k+1} = R_{r,k} - \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \quad (30)$$

ただし、

$$\check{C}_{k+1} = \begin{bmatrix} \check{H}_{k+1} \\ \check{H}_{k+1} \end{bmatrix},\quad \check{H}_{k+1} = [u_{k+1}\ u(k+1-N)] = [u(k+1)\ u_k],\quad \check{H}_1 = [u(1), 0, \ldots, 0]$$

$$R_{e,1} = R_1 + \check{C}_1 \check{\Sigma}_{1|0} \check{C}_1^T,\quad R_1 = \begin{bmatrix} \rho & 0 \\ 0 & -\rho\gamma_f^2 \end{bmatrix},\quad \check{\Sigma}_{1|0} = \mathrm{diag}\{\rho^2, \rho^3, \ldots, \rho^{N+2}\},\quad \rho = 1 - \chi(\gamma_f)$$

$$\tilde{L}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{(N+1)\times 2},\quad R_{r,0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & \rho^{-N} \end{bmatrix},\quad \overline{K}_0 = 0,\quad \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0,\quad \overline{K}_k = \rho^{-\frac{1}{2}} K_k \quad (31)$$

であり、diag{・}は対角行列、$R_{e,k+1}(1,1)$は行列$R_{e,k+1}$の1－1成分をそれぞれ表す。また、上式は$\overline{K}_k$の代わりに$K_k$に関しても整理できる。

本高速アルゴリズムは、次の因数分解

$$\underline{\Sigma}_{k+1|k} - \Psi \underline{\Sigma}_{k|k-1} \Psi^T = -\underline{L}_k R_{r,k}^{-1} \underline{L}_k^T \quad (32)$$

における$\tilde{L}_k \in R^{(N+1)\times 2}$の更新によってフィルタゲイン$K_{s,k}$を求めているので、単位ス

テップ当たりの計算量はO(N+1)で済む。ここで、次式に注意されたい。

$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} = \rho^{-\frac{1}{2}} \left( \underline{\Sigma}_{k+1|k} \check{C}_{k+1}^T - \Psi \underline{\Sigma}_{k|k-1} \check{C}_k^T \right)$$

図5に、定理4の数値的に安定な高速アルゴリズムのフローチャートの一例を示す。この高速アルゴリズムは図2の$H_\infty$フィルタの計算ステップ(S105)に組み込まれ、$\gamma$ーイタレーションによって最適化される。よって、存在条件が満たされる間は$\gamma_f$は除々に減少されるが、満たされなくなった時点で、図示のように$\gamma_f$は増加される。

$H_\infty$フィルタリングアルゴリズムは以下のように要約することができる。

[ステップS401] 処理部101は、再帰式の初期条件を図示のように定める。なお、Lは最大データ数を示す。

[ステップS403] 処理部101は、時刻kと最大データ数Lとを比較する。処理部101は、時刻kが最大データ数より大きければ処理を終了し、以下であれば次のステップに進む。(不要であれば条件文を取り除くことができる。または、再スタートする。)

[ステップS405] 処理部101は、フィルタゲインに対応する項$K_{k+1}$を式(27)、(31)を用いて再帰的に計算する。

[ステップS406] 処理部101は、$R_{e,k+1}$を式(29)を用いて再帰的に計算する。

[ステップS407] 処理部101は、さらに$K_{s,k}$を式(26)、(31)を用いて計算する。

[ステップS409] 処理部101は、ここで、存在条件EXC>0を判定し、存在条件を満たせばステップS411に進む。

[ステップS413] 一方、処理部101は、ステップS409で存在条件を満たさなければ$\gamma_f$を増加し、ステップS401に戻る。

[ステップS411] 処理部101は、式(25)の$H_\infty$フィルタのフィルタ方程式を更新する。

[ステップS415] 処理部101は、$R_{r,k+1}$を式(30)を用いて再帰的に計算する。ま

周期Tを便宜上1．0とする。

また、受信信号$\{u_k\}$は次のように2次のARモデルで近似する。

$$u_k=\alpha_1 u_{k-1}+\alpha_2 u_{k-2}+w_k' \qquad (39)$$

ただし、$\alpha_1=0.7$, $\alpha_2=0.1$とし、$w_k'$ は平均値0、分散$\sigma_{w'}{}^2=0.04$の定常なガウス白色雑音とする。

（インパルス応答の推定結果）

図7に、定理4の数値的に安定な高速アルゴリズムによるインパルス応答の推定結果を示す。ここで、図7(b)の縦軸は、

$$\sqrt{\sum_{i=0}^{47}(h_i-\hat{x}_k(i+1))^2}$$

を表す。

これより、本高速アルゴリズムによって良好に推定出来ていることがわかる。ただし、$\rho=1-\chi(\gamma_f)$、$\chi(\gamma_f)=\gamma_f^{-2}$、$\hat{x}_{0|0}=0$、$\hat{\Sigma}_{1|0}=20I$とし、計算は倍精度で行った。また、存在条件を確認しつつ、$\gamma_f=5.5$ と設定とした。

8．　定理の証明

8－1．　定理2の証明

次の関係式

$$\begin{bmatrix} R_k^{\frac{1}{2}} & C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \\ 0 & \rho^{-\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} J \begin{bmatrix} R_k^{\frac{T}{2}} & 0 \\ \hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}}C_k^T & \rho^{-\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}} \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} R_{e,k}^{\frac{1}{2}} & 0 \\ \rho^{-\frac{1}{2}}K_k R_{e,k}^{-\frac{1}{2}}J_1^{-1} & \hat{\Sigma}_{k+1|k}^{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} J \begin{bmatrix} R_{e,k}^{\frac{T}{2}} & \rho^{-\frac{1}{2}}J_1^{-1}R_{e,k}^{-\frac{T}{2}}K_k^T \\ 0 & \hat{\Sigma}_{k+1|k}^{\frac{T}{2}} \end{bmatrix} \qquad (40)$$

が成り立つとき、両辺の2×2ブロック行列の各項を比較すれば次式が得られる。

（１，１）ーブロック行列

$$
\begin{aligned}
&\boldsymbol{X J_1 X^T}\\
&\quad= \boldsymbol{R}_{e,k} - \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}\bar{\boldsymbol{L}}_k \boldsymbol{R}_{r,k}^{-1}\bar{\boldsymbol{L}}_k^T \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T\\
&\quad= \boldsymbol{R}_{e,k} + \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}\left(\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k+1|k} - \boldsymbol{\Psi}\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k|k-1}\boldsymbol{\Psi}^T\right)\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T\\
&\quad= \boldsymbol{R}_{e,k} + \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k+1|k}\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T - \breve{\boldsymbol{C}}_{k}\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k|k-1}\breve{\boldsymbol{C}}_{k}^T\\
&\quad= \boldsymbol{R}_{e,k} + (\boldsymbol{R}_{e,k+1} - \boldsymbol{R}_{k+1}) - (\boldsymbol{R}_{e,k} - \boldsymbol{R}_{k}) = \boldsymbol{R}_{e,k+1}
\end{aligned}
$$

よって、$\boldsymbol{R}_{e,k+1} = \boldsymbol{R}_{e,k+1}^{\frac{1}{2}}\boldsymbol{J}_1\boldsymbol{R}_{e,k+1}^{\frac{T}{2}}$, $\boldsymbol{R}_{k+1} = \boldsymbol{R}_k$ より、$\boldsymbol{X} = \boldsymbol{R}_{e,k+1}^{\frac{1}{2}}$を得る。ここで、$\boldsymbol{J}_1^{-1} = \boldsymbol{J}_1$ $(\boldsymbol{J}_1^2 = \boldsymbol{I})$, $\boldsymbol{S}^{-1} = \boldsymbol{S}$, $\boldsymbol{R}_{e,k+1}^T = \boldsymbol{R}_{e,k+1}$, $\boldsymbol{R}_{r,k}^T = \boldsymbol{R}_{r,k}$, $\boldsymbol{R}_{r,k}^{-1} = \boldsymbol{R}_{r,k}^{-\frac{T}{2}}\boldsymbol{S}\boldsymbol{R}_{r,k}^{-\frac{1}{2}}$, $\breve{\boldsymbol{C}}_k = \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}\boldsymbol{\Psi}$ $(\breve{\boldsymbol{C}}_k^T = \boldsymbol{\Psi}^T\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T)$ が成り立つことに注意されたい。

（２，１）ーブロック行列

$$
\begin{aligned}
&\boldsymbol{Y J_1 X^T}\\
&\quad= \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{\boldsymbol{L}}_k \boldsymbol{R}_{r,k}^{-1}\bar{\boldsymbol{L}}_k^T \breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T\\
&\quad= \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_k \end{bmatrix} + \rho^{-\frac{1}{2}}\left(\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k+1|k} - \boldsymbol{\Psi}\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k|k-1}\boldsymbol{\Psi}^T\right)\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T\\
&\quad= \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_k \end{bmatrix} + \rho^{-\frac{1}{2}}\left(\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k+1|k}\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}^T - \boldsymbol{\Psi}\breve{\boldsymbol{\Sigma}}_{k|k-1}\breve{\boldsymbol{C}}_{k}^T\right)\\
&\quad= \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \overline{\boldsymbol{K}}_{k+1} \\ \boldsymbol{0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_k \end{bmatrix}\\
&\quad= \begin{bmatrix} \overline{\boldsymbol{K}}_{k+1} \\ \boldsymbol{0} \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

これより、$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \overline{\boldsymbol{K}}_{k+1} \\ \boldsymbol{0} \end{bmatrix}\boldsymbol{R}_{e,k+1}^{-\frac{T}{2}}\boldsymbol{J}_1$を得る。ただし、$\breve{\boldsymbol{C}}_k^T = (\breve{\boldsymbol{C}}_{k+1}\boldsymbol{\Psi})^T$である。

（2，2）ーブロック行列

$$
\begin{aligned}
-ZSZ^T + YJ_1Y^T \\
&= \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix}^T - \rho^{-1}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T \\
&= \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix}^T + \rho^{-1}\left(\breve{\Sigma}_{k+1|k} - \Psi\breve{\Sigma}_{k|k-1}\Psi^T\right) \\
&= \rho^{-1}\Psi\left(\begin{bmatrix} K_k \\ 0 \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \begin{bmatrix} K_k \\ 0 \end{bmatrix}^T - \breve{\Sigma}_{k|k-1}\right)\Psi^T + \rho^{-1}\breve{\Sigma}_{k+1|k} \\
&= -\Psi\breve{\Sigma}_{k+1|k}\Psi^T + \breve{\Sigma}_{k+2|k+1} + \begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} R_{e,k+1}^{-1} \begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix}^T
\end{aligned}
$$

これより、

$$
-ZSZ^T = \breve{\Sigma}_{k+2|k+1} - \Psi\breve{\Sigma}_{k+1|k}\Psi^T = -\tilde{L}_{k+1}R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}} S R_{r,k+1}^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_{k+1}^T
$$

となり、$Z = \tilde{L}_{k+1}R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}}$ を得る。

## 8－3．定理4の証明

観測行列$H_k$がシフト特性をもち、かつ

$$
J = (J_1 \oplus -S)
$$

のとき、定理2と同様な方法によって次の関係式が得られる。

$$
\begin{bmatrix} R_{e,k+1} & 0 \\ \begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} & \tilde{L}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{e,k} & \breve{C}_{k+1}\tilde{L}_k \\ \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} & \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k \end{bmatrix} \Sigma(k) \tag{46}
$$

ただし、

$$
\Theta(k) = (J_1 R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \oplus -R_{r,k}^{\frac{1}{2}}) \sum(k) (R_{e,k+1}^{-\frac{T}{2}} J_1^{-1} \oplus -R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}})
$$

$$
\Sigma(k) = \begin{bmatrix} I & -R_{e,k}^{-1}\breve{C}_{k+1}\tilde{L}_k \\ -R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T\breve{C}_{k+1}^T & I \end{bmatrix} \tag{47}
$$

とし、$\Sigma(k)^T(R_{e,k} \oplus -R_{r,k})\,\Sigma(k) = (R_{e,k+1} \oplus -R_{r,k+1})$

となるように$R_{r,k+1}$を決定する。次に、式（46）の3行目に$R_{r,k+1}$の更新式を新たに追

PCT/JP2004/011568
日本国特許庁 27.10.2005


# 請求の範囲

1.［ ］

２.（補正後）処理部は、前記存在条件を次式に従い計算する請求項７に記載のシステム推定方法。

$$\hat{\Sigma}_{i|i}^{-1} = \hat{\Sigma}_{i|i-1}^{-1} + \frac{1-\gamma_f^{-2}}{\rho} H_i^T H_i > 0, \quad i = 0, \ldots, k \tag{17}$$

３.（補正後）処理部は、前記存在条件を次式に従い計算する請求項７又は９又は１１に記載のシステム推定方法。

$$-\varrho \hat{\Xi}_i + \rho \gamma_f^2 > 0, \quad i = 0, \cdots, k \tag{18}$$

ここで、

$$\varrho = 1 - \gamma_f^2, \quad \hat{\Xi}_i = \frac{\rho H_i K_{s,i}}{1 - H_i K_{s,i}}, \quad \rho = 1 - \chi(\gamma_f) \tag{19}$$

ただし、前記忘却係数$\rho$及び前記上限値$\gamma_f$は、次式の関係である。

$0 < \rho = 1 - \chi(\gamma_f) \leqq 1$　（ただし、$\chi(\gamma_f)$は、$\chi(1) = 1$、$\chi(\infty) = 0$を満たす$\gamma_f$の単調減衰関数）

4.（削除）

5

6. [削除]

7. 次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_k x_k+G_k w_k$

$y_k=H_k x_k+v_k$

$z_k=H_k x_k$

ここで、

$x_k$:状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$:システム雑音

$v_k$:観測雑音

$y_k$:観測信号

$z_k$:出力信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$G_k$:駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時に行うためのシステム推定方法であって、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力するステップと、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定するステップと、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、前記フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$K_k$を用いて、次式(20)～(2

2)により求める、又は、次式(20)と、式(21)及び(22)において$J_1^{-1}$および$J_1$を削除した式により求めるハイパーH∞フィルタを実行するステップと、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{20}$$

$$K_{s,k} = K_k(:,1)/R_{e,k}(1,1)\ ,\ K_k = \rho^{\frac{1}{2}}(\rho^{-\frac{1}{2}}K_kR_{e,k}^{-\frac{1}{2}}J_1^{-1})J_1R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \tag{21}$$

$$\left[\begin{array}{c|c} R_k^{\frac{1}{2}} & C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \\ \hline 0 & \rho^{-\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \end{array}\right]\Theta(k) = \left[\begin{array}{c|c} R_{e,k}^{\frac{1}{2}} & 0 \\ \hline \rho^{-\frac{1}{2}}K_kR_{e,k}^{-\frac{1}{2}}J_1^{-1} & \hat{\Sigma}_{k+1|k}^{\frac{1}{2}} \end{array}\right] \tag{22}$$

ただし、

$$R_k = R_k^{\frac{1}{2}}J_1R_k^{\frac{T}{2}},\ \ R_k^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \rho^{\frac{1}{2}} & 0 \\ 0 & \rho^{\frac{1}{2}}\gamma_f \end{bmatrix},\ \ J_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix},\ \ \hat{\Sigma}_{k|k-1} = \hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}}\hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}}$$

$$R_{e,k} = R_k + C_k\hat{\Sigma}_{k|k-1}C_k^T,\ \ C_k = \begin{bmatrix} H_k \\ H_k \end{bmatrix},\ \ R_{e,k} = R_{e,k}^{\frac{1}{2}}J_1R_{e,k}^{\frac{T}{2}},\ \ \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0 \tag{23}$$

であり、$\Theta(k)$はJ-ユニタリ行列、すなわち$\Theta(k)J\Theta(k)^T = J$を満たし、$J = (J_1 \oplus I)$、$I$は単位行列である。また、$K_k(:,1)$は行列$K_k$の1列目の列ベクトルを表す。

ここで、

$x\hat{}_{k|k}$:観測信号$y_0$〜$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$y_k$:観測信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$K_{s,k}$:フィルタゲイン

$H_k$:観測行列

$\Sigma\hat{}_{k|k}$:$x\hat{}_{k|k}$の誤差の共分散行列に対応

$\Theta(k)$:J−ユニタリ行列

$R_{e,k}$:補助変数

処理部が、ハイパーH∞フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶するステップと、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算するステップと、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパーH∞フィルタを実行するステップを

繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、
その値を記憶部に記憶するステップと、
を含む前記システム推定方法。

8.（補正後） 前記ハイパーH$_\infty$フィルタを実行するステップは、

処理部が、$\hat{\Sigma}_{k+1|k}^{1/2}$を前記式（22）を用いて計算するステップと、

処理部が、$\hat{\Sigma}_{k|k}$の初期条件と$C_k$の初期条件のもとで、フィルタゲイン$K_{s,k}$を前記式（21）を用いて計算するステップと、

処理部が、前記式（20）のH$_\infty$フィルタのフィルタ方程式を更新するステップと、

処理部が、前記式（22）を用いて計算するステップと、前記式（21）を用いて計算するステップと、前記更新するステップとを、時刻kを進ませて繰り返し実行するステップと

を含む請求項7に記載のシステム推定方法。

9. 次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_k x_k+G_k w_k$

$y_k=H_k x_k+v_k$

$z_k=H_k x_k$

ここで、

$x_k$:状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$:システム雑音

$v_k$:観測雑音

$y_k$:観測信号

$z_k$:出力信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$G_k$:駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時に行うためのシステム推定方法であって、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力するステップと、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定するステップと、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、前記フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$K_k$を用いて、次式により求めるハイパー$H_\infty$フィルタを実行するステップと、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{61}$$

$$K_{s,k} = K_k(:,1)/R_{e,k}(1,1)\ ,\ K_k = \rho^{\frac{1}{2}}(\overline{K}_k R_{e,k}^{-\frac{1}{2}})R_{e,k}^{\frac{1}{2}} \tag{62}$$

$$\begin{bmatrix} R_{e,k+1}^{\frac{1}{2}} & 0 \\ \begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} R_{e,k+1}^{-\frac{T}{2}} J_1 & \tilde{L}_{k+1} R_{r,k+1}^{-\frac{T}{2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{e,k}^{\frac{1}{2}} & \check{C}_{k+1}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-\frac{1}{2}} \\ \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-\frac{1}{2}} J_1 & \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \Theta(k) \tag{63}$$

ここで、$\Theta(k)$ は任意の J-ユニタリ行列であり、$\check{C}_k = \check{C}_{k+1}\Psi$が成り立つ。
ただし、

$$R_k = R_k^{\frac{1}{2}} J_1 R_k^{\frac{T}{2}},\ \ R_k^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \rho^{\frac{1}{2}} & 0 \\ 0 & \rho^{\frac{1}{2}}\gamma_f \end{bmatrix},\ \ J_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix},\ \ \hat{\Sigma}_{k|k-1} = \hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{1}{2}} \hat{\Sigma}_{k|k-1}^{\frac{T}{2}}$$

$$R_{e,k} = R_k + C_k \hat{\Sigma}_{k|k-1} C_k^T,\ \ C_k = \begin{bmatrix} H_k \\ H_k \end{bmatrix},\ \ R_{e,k} = R_{e,k}^{\frac{1}{2}} J_1 R_{e,k}^{\frac{T}{2}},\ \ \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0 \tag{23}$$

ここで、

$x\hat{}_{k|k}$:観測信号$y_0$〜$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$y_k$:観測信号

$K_{s,k}$:フィルタゲイン

$H_k$:観測行列

Θ(k):Jーユニタリ行列

$R_{e,k}$:補助変数

処理部が、ハイパーH∞フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶するステップと、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算するステップと、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパーH∞フィルタを実行するステップを繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、その値を記憶部に記憶するステップと、

を含む前記システム推定方法。

10.（補正後） 前記ハイパーH$_\infty$フィルタを実行するステップは、

処理部が、$R_{e,k+1}$、$R_{r,k+1}$及び$\tilde{L}_{k+1}$の初期条件のもとで、$\bar{K}_k$を前記式(63)を用いて計算するステップと、

処理部が、フィルタゲイン$K_{s,k}$を前記式(62)を用いて計算するステップと、

処理部が、前記式(61)のH$_\infty$フィルタのフィルタ方程式を更新するステップと、

処理部は、前記式(63)を用いて計算するステップと、前記式(62)を用いて計算するステップと、前記更新するステップを、時刻kを進ませて繰り返し実行するステップと

を含む請求項9に記載のシステム推定方法。

11．次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_kx_k+G_kw_k$

$y_k=H_kx_k+v_k$

$z_k=H_kx_k$

ここで、

$x_k$:状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$:システム雑音

$v_k$:観測雑音

$y_k$:観測信号

$z_k$:出力信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$G_k$:駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時に行うためのシステム

推定方法であって、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力するステップと、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定するステップと、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$\overline{K}_k$を用いて、次式により求めるハイパー$H_\infty$フィルタを実行するステップと、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{25}$$

$$K_{s,k} = \rho^{\frac{1}{2}}\overline{K}_k(:,1)/R_{e,k}(1,1) \tag{26}$$

$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^T \tag{27}$$

$$\tilde{L}_{k+1} = \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k \tag{28}$$

$$R_{e,k+1} = R_{e,k} - \check{C}_{k+1}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^T \tag{29}$$

$$R_{r,k+1} = R_{r,k} - \tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^T R_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k \tag{30}$$

ただし、

$$\check{C}_{k+1} = \begin{bmatrix} \check{H}_{k+1} \\ \check{H}_{k+1} \end{bmatrix},\quad \check{H}_{k+1} = [u_{k+1}\ u(k+1-N)] = [u(k+1)\ u_k],\quad \check{H}_1 = [u(1), 0, \ldots, 0]$$

$$R_{e,1} = R_1 + \check{C}_1\check{\Sigma}_{1|0}\check{C}_1^T,\quad R_1 = \begin{bmatrix} \rho & 0 \\ 0 & -\rho\gamma_f^2 \end{bmatrix},\quad \check{\Sigma}_{1|0} = \mathrm{diag}\{\rho^2, \rho^3, \ldots, \rho^{N+2}\},\quad \rho = 1 - \chi(\gamma_f)$$

$$\tilde{L}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{(N+1)\times 2},\quad R_{r,0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & \rho^{-N} \end{bmatrix},\quad \overline{K}_0 = 0,\quad \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0,\quad \overline{K}_k = \rho^{-\frac{k}{2}}K_k \tag{31}$$

ここで、

$y_k$:観測信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$H_k$:観測行列

$\hat{x}_{k|k}$：観測信号$y_0$～$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$K_{s,k}$：フィルタゲイン；ゲイン行列$\bar{K}_k$から得られる。

$R_{e,k}$、$\tilde{L}_k$：補助変数

処理部が、ハイパーH$_\infty$フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶するステップと、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算するステップと、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパーH$_\infty$フィルタを実行するステップを繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、その値を記憶部に記憶するステップと、

を含む前記システム推定方法。

12.

13. さらに、次式により時刻kの状態推定値$\hat{x}_{k|k}$から出力信号の推定値$\check{z}_{k|k}$を求めるようにした請求項7又は9又は11に記載のシステム推定方法。

$$\check{z}_{k|k} = H_k \hat{x}_{k|k}$$

14.（補正後） 前記$H_\infty$フィルタ方程式を適用し、状態推定値$\hat{x}_{k|k} = [\hat{h}_1[k], \cdots, \hat{h}_N[k]]^T$を求め、

擬似エコーを次式のように推定し、

求められた擬似エコーで実際のエコーを打ち消すことによりエコーキャンセラを実現する請求項7又は9又は11に記載のシステム推定方法。

$$\hat{d}_k = \sum_{i=0}^{N-1} \hat{h}_i[k] u_{(k-i)}, \quad k = 0, 1, 2, \cdots \tag{34}$$

15. 次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_k x_k+G_k w_k$

$y_k=H_k x_k+v_k$

$z_k=H_k x_k$

ここで、

$x_k$:状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$:システム雑音

$v_k$:観測雑音

$y_k$:観測信号

$z_k$:出力信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$G_k$:駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時にコンピュータに実行させるためのシステム推定プログラムであって、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力するステップと、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定するステップと、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$K^{-}_k$を用いて、次式により求めるハイパー$H_\infty$フィルタを実行するステップと、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k \hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{25}$$
$$K_{s,k} = \rho^{\frac{1}{2}} \overline{K}_k(:,1)/R_{e,k}(1,1) \tag{26}$$
$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{27}$$
$$\tilde{L}_{k+1} = \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \tag{28}$$
$$R_{e,k+1} = R_{e,k} - \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{29}$$
$$R_{r,k+1} = R_{r,k} - \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \tag{30}$$

ただし、

$$\check{C}_{k+1} = \begin{bmatrix} \check{H}_{k+1} \\ \check{H}_{k+1} \end{bmatrix}, \quad \check{H}_{k+1} = [u_{k+1}\ u(k+1-N)] = [u(k+1)\ u_k], \quad \check{H}_1 = [u(1), 0, \ldots, 0]$$
$$R_{e,1} = R_1 + \check{C}_1 \check{\Sigma}_{1|0} \check{C}_1^T, \quad R_1 = \begin{bmatrix} \rho & 0 \\ 0 & -\rho\gamma_f^2 \end{bmatrix}, \quad \check{\Sigma}_{1|0} = \mathrm{diag}\{\rho^2, \rho^3, \ldots, \rho^{N+2}\}, \quad \rho = 1 - \chi(\gamma_f)$$
$$\tilde{L}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{(N+1)\times 2}, \quad R_{r,0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & \rho^{-N} \end{bmatrix}, \quad \overline{K}_0 = 0, \quad \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0, \quad \overline{K}_k = \rho^{-\frac{1}{2}} K_k \tag{31}$$

ここで、

$y_k$:観測信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$H_k$:観測行列

$x\hat{}_{k|k}$:観測信号$y_0$〜$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$K_{s,k}$:フィルタゲイン;ゲイン行列$K\bar{}_k$から得られる。

$R_{e,k}$、$L\tilde{}_k$:補助変数

処理部が、ハイパー$H_\infty$フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶するステップと、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算するステップと、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパー$H_\infty$フィルタを実行するステップを

繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、その値を記憶部に記憶するステップと、

をコンピュータに実行させるためのシステム推定プログラム。

16．次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_kx_k+G_kw_k$

$y_k=H_kx_k+v_k$

$z_k=H_kx_k$

ここで、

$x_k$:状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$:システム雑音

$v_k$:観測雑音

$y_k$:観測信号

$z_k$:出力信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$G_k$:駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時にコンピュータに実行させるためのシステム推定プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力するステップと、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定するステップと、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$K^{-}_k$を用いて、次式により求めるハイパー$H_\infty$フィルタを実行するステップと、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k\hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{25}$$

$$K_{s,k} = \rho^{\frac{1}{2}}\overline{K}_k(:,1)/R_{e,k}(1,1) \tag{26}$$

$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{27}$$

$$\tilde{L}_{k+1} = \rho^{-\frac{1}{2}}\tilde{L}_k - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k \tag{28}$$

$$R_{e,k+1} = R_{e,k} - \check{C}_{k+1}\tilde{L}_k R_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{29}$$

$$R_{r,k+1} = R_{r,k} - \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T R_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k \tag{30}$$

ただし、

$$\check{C}_{k+1} = \begin{bmatrix} \check{H}_{k+1} \\ \check{H}_{k+1} \end{bmatrix},\ \check{H}_{k+1} = [u_{k+1}\ u(k+1-N)] = [u(k+1)\ u_k],\ \check{H}_1 = [u(1), 0, \dots, 0]$$

$$R_{e,1} = R_1 + \check{C}_1\check{\Sigma}_{1|0}\check{C}_1^T,\ R_1 = \begin{bmatrix} \rho & 0 \\ 0 & -\rho\gamma_f^2 \end{bmatrix},\ \check{\Sigma}_{1|0} = \mathrm{diag}\{\rho^2, \rho^3, \dots, \rho^{N+2}\},\ \rho = 1 - \chi(\gamma_f)$$

$$\tilde{L}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{(N+1)\times 2},\ R_{r,0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & \rho^{-N} \end{bmatrix},\ \overline{K}_0 = 0,\ \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0,\ \overline{K}_k = \rho^{-\frac{1}{2}}K_k \tag{31}$$

ここで、

$y_k$:観測信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$H_k$:観測行列

$x\hat{}_{k|k}$:観測信号$y_0$～$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$K_{s,k}$:フィルタゲイン;ゲイン行列$K^{-}_k$から得られる。

$R_{e,k}$、$L^{\sim}_k$:補助変数

処理部が、ハイパーH∞フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶するステップと、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算するステップと、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパーH∞フィルタを実行するステップを

繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、その値を記憶部に記憶するステップと、

をコンピュータに実行させるためのシステム推定プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

17. 次式で表される状態空間モデルに対して、

$x_{k+1}=F_kx_k+G_kw_k$

$y_k=H_kx_k+v_k$

$z_k=H_kx_k$

ここで、

$x_k$：状態ベクトルまたは単に状態

$w_k$：システム雑音

$v_k$：観測雑音

$y_k$：観測信号

$z_k$：出力信号

$F_k$：システムのダイナミックス

$G_k$：駆動行列

評価基準として、システム雑音$w_k$及び観測雑音$v_k$を含む外乱に対するフィルタ誤差の割合を示し且つ忘却係数$\rho$で重み付けされたエネルギーゲインの最大値を、予め与えられた上限値$\gamma_f$に対応する項より小さく抑えるように定めた推定アルゴリズムにおいて、状態推定のロバスト化と忘却係数$\rho$の最適化を同時に行うためのシステム推定装置であって、

推定アルゴリズムを実行する処理部と、

前記処理部により読み取り及び／又は書き込みがなされ、状態空間モデルに関連する各観測値、設定値、推定値を記憶した記憶部と、

を備え、

処理部が、上限値$\gamma_f$、フィルタの入力である観測信号$y_k$、観測行列$H_k$を含む値を記憶部又は入力部から入力する手段と、

処理部が、前記上限値$\gamma_f$に従い、状態空間モデルに関連する忘却係数$\rho$を決定する手段と、

処理部が、記憶部から初期値又はある時刻の観測行列$H_k$を含む値を読み取り、フィルタゲイン$K_{s,k}$を、前記忘却係数$\rho$とゲイン行列$K^{-}_{k}$を用いて、次式により求めるハイパー$H_\infty$フィルタを実行する手段と、

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k-1|k-1} + K_{s,k}(y_k - H_k \hat{x}_{k-1|k-1}) \tag{25}$$

$$K_{s,k} = \rho^{\frac{1}{2}} \overline{K}_k(:,1)/R_{e,k}(1,1) \tag{26}$$

$$\begin{bmatrix} \overline{K}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} - \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{27}$$

$$\tilde{L}_{k+1} = \rho^{-\frac{1}{2}} \tilde{L}_k - \begin{bmatrix} 0 \\ \overline{K}_k \end{bmatrix} R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \tag{28}$$

$$R_{e,k+1} = R_{e,k} - \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k R_{r,k}^{-1} \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T \tag{29}$$

$$R_{r,k+1} = R_{r,k} - \tilde{L}_k^T \check{C}_{k+1}^T R_{e,k}^{-1} \check{C}_{k+1} \tilde{L}_k \tag{30}$$

ただし、

$$\check{C}_{k+1} = \begin{bmatrix} \check{H}_{k+1} \\ \check{H}_{k+1} \end{bmatrix}, \quad \check{H}_{k+1} = [u_{k+1}\ u(k+1-N)] = [u(k+1)\ u_k], \quad \check{H}_1 = [u(1), 0, \ldots, 0]$$

$$R_{e,1} = R_1 + \check{C}_1 \check{\Sigma}_{1|0} \check{C}_1^T, \quad R_1 = \begin{bmatrix} \rho & 0 \\ 0 & -\rho\gamma_f^2 \end{bmatrix}, \quad \check{\Sigma}_{1|0} = \mathrm{diag}\{\rho^2, \rho^3, \ldots, \rho^{N+2}\}, \quad \rho = 1 - \chi(\gamma_f)$$

$$\tilde{L}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{(N+1)\times 2}, \quad R_{r,0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & \rho^{-N} \end{bmatrix}, \quad \overline{K}_0 = 0, \quad \hat{x}_{0|0} = \check{x}_0, \quad \overline{K}_k = \rho^{-\frac{1}{2}} K_k \tag{31}$$

ここで、

$y_k$:観測信号

$F_k$:システムのダイナミックス

$H_k$:観測行列

$x^{\wedge}_{k|k}$:観測信号$y_0$〜$y_k$までを用いた時刻kの状態$x_k$の推定値

$K_{s,k}$:フィルタゲイン;ゲイン行列$K^{-}_{k}$から得られる。

$R_{e,k}$、$L^{\sim}_{k}$:補助変数

処理部が、ハイパー$H_\infty$フィルタによって求められた状態$x_k$の推定値を記憶部に記憶する手段と、

処理部が、求められた観測行列$H_i$、又は、観測行列$H_i$とフィルタゲイン$K_{s,i}$により、前記上限値$\gamma_f$及び前記忘却係数$\rho$に基づく存在条件を計算する手段と、

処理部が、上限値$\gamma_f$を小さくしていき前記ハイパーH$_\infty$フィルタを実行するステップを繰り返すことで、各時刻で前記存在条件が満たされる範囲で上限値を小さく設定し、その値を記憶部に記憶する手段と、

を備えた前記システム推定装置。

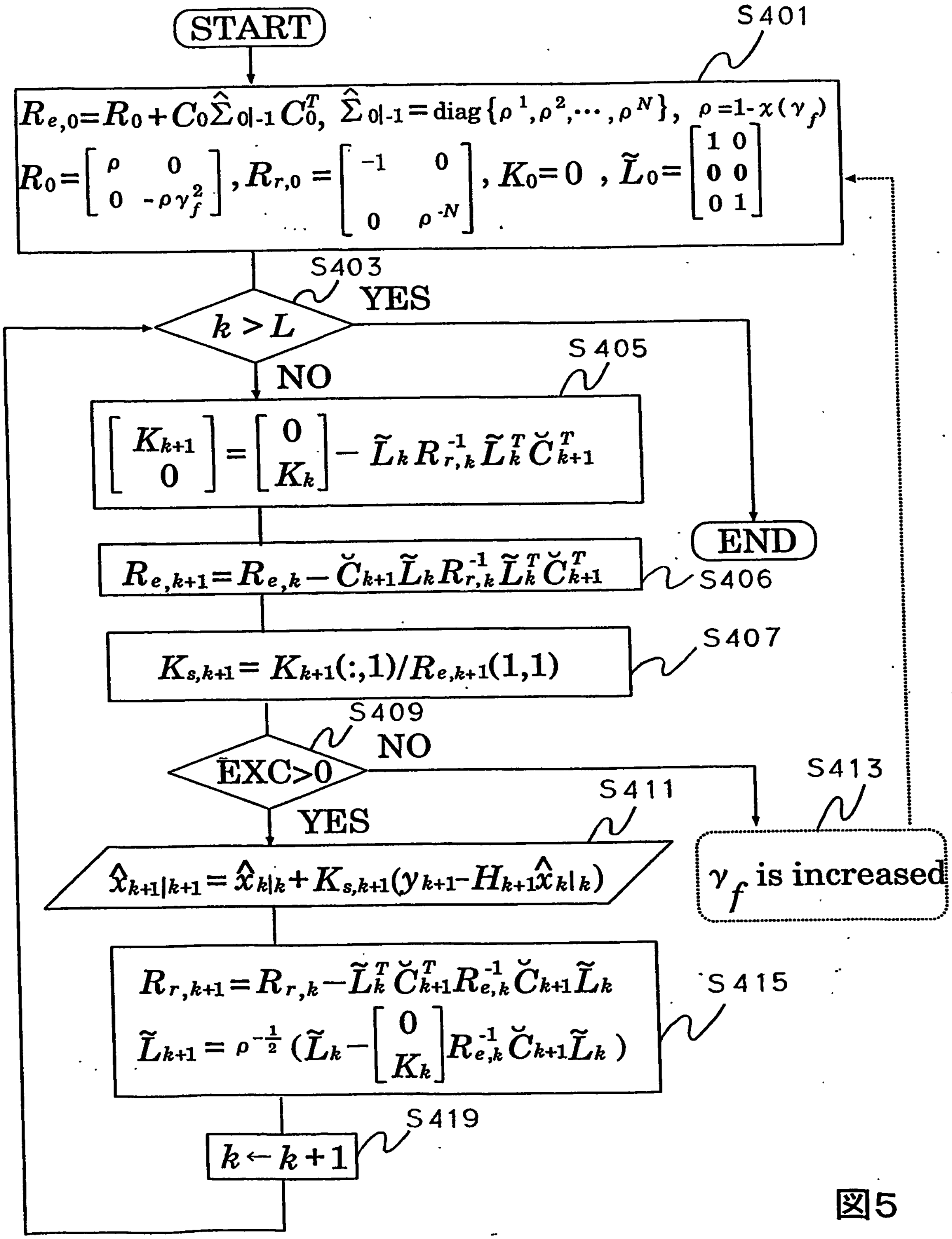
START
S401
$R_{e,0}=R_0+C_0\hat{\Sigma}_{0|-1}C_0^T,\ \hat{\Sigma}_{0|-1}=\mathrm{diag}\{\rho^1,\rho^2,\cdots,\rho^N\},\ \rho=1-\chi(\gamma_f)$
$R_0=\begin{bmatrix}\rho & 0\\ 0 & -\rho\gamma_f^2\end{bmatrix},R_{r,0}=\begin{bmatrix}-1 & 0\\ 0 & \rho^{-N}\end{bmatrix},K_0=0,\ \tilde{L}_0=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}$
S403
$k>L$
YES
NO
S405
$\begin{bmatrix}K_{k+1}\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ K_k\end{bmatrix}-\tilde{L}_kR_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^T$
END
$R_{e,k+1}=R_{e,k}-\check{C}_{k+1}\tilde{L}_kR_{r,k}^{-1}\tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^T$
S406
S407
$K_{s,k+1}=K_{k+1}(:,1)/R_{e,k+1}(1,1)$
S409
EXC>0
NO
S413
S411
YES
$\hat{x}_{k+1|k+1}=\hat{x}_{k|k}+K_{s,k+1}(y_{k+1}-H_{k+1}\hat{x}_{k|k})$
$\gamma_f$ is increased
$R_{r,k+1}=R_{r,k}-\tilde{L}_k^T\check{C}_{k+1}^TR_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k$
$\tilde{L}_{k+1}=\rho^{-\frac{1}{2}}(\tilde{L}_k-\begin{bmatrix}0\\ K_k\end{bmatrix}R_{e,k}^{-1}\check{C}_{k+1}\tilde{L}_k)$
S415
$k\leftarrow k+1$
S419

図5